

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

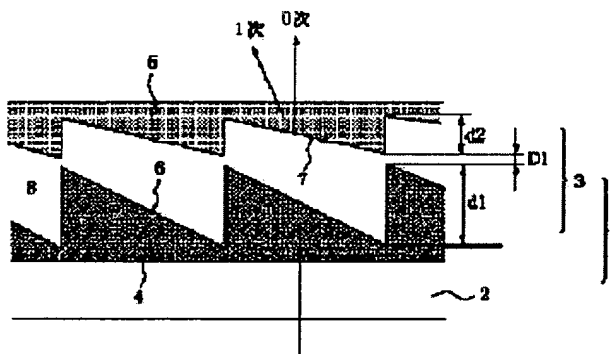
**DIFFRACTION OPTICAL ELEMENT AND OPTICAL SYSTEM HAVING THE ELEMENT**

**Patent number:** JP2000098118  
**Publication date:** 2000-04-07  
**Inventor:** NAKAI TAKEHIKO  
**Applicant:** CANON INC  
**Classification:**  
- **international:** G02B5/18; G02B27/42  
- **europaean:**  
**Application number:** JP19980263020 19980917  
**Priority number(s):**

**Abstract of JP2000098118**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enhance the diffraction efficiency of a grating laminated DOE (Diffraction Optical Element) in which the thickness of each diffraction grating is  $\leq 10 \mu\text{m}$ .

**SOLUTION:** First and second diffraction gratings 4 and 5 made separately of materials different from each other in Abbe's number are laminated with an air layer 8 interposed between them. The grating thickness of the first diffraction grating is adjusted to  $7.5 \mu\text{m}$ , that of the second diffraction grating to  $6.54 \mu\text{m}$ , a glass having an Abbe's number of 63.8 is used as the material of the first diffraction grating and a UV-curing resin having an Abbe's number of 23.0 is used as the material of the second diffraction grating. The diffracted light beams of the 1st order are obtd. with  $\geq 97\%$  diffraction efficiency in the entire visible region.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-98118

(P2000-98118A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 5/18  
27/42

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18  
27/42

テーマコード (参考)

2 H 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-263020

(22) 出願日 平成10年9月17日 (1998.9.17)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 中井 武彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノ  
ン株式会社内

(74) 代理人 100069877

弁理士 丸島 徹一

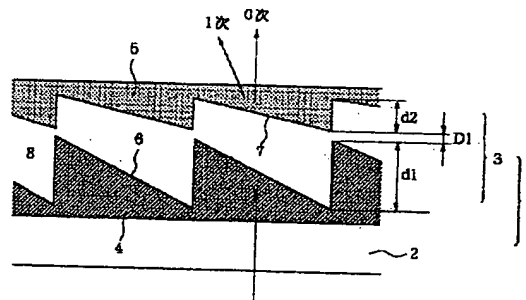
Fターム (参考) 2H049 AA17 AA53 AA55 AA63

(54) 【発明の名称】 回折光学素子及びこれを有する光学系

(57) 【要約】

【課題】 各回折格子の厚さが $10\mu\text{m}$ 以下の格子積層  
DOEの回折効率を向上させること。

【解決手段】 互いにアッペ数が異なる材料より成る第  
1、第2の回折格子4、5を空気層8を介して積層し、  
第1の回折格子の格子厚を $7.5\mu\text{m}$ 、第2回折格子の  
格子厚を $6.54\mu\text{m}$ とし、第1回折格子の材料にアッ  
ペ数が63.8のガラスを用い、第2回折格子の材料にア  
ッペ数が23.0の紫外線硬化樹脂を用いることで、可  
視域全体で1次の回折光の回折効率を97%以上とし  
た。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項3】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項4】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項5】 少なくとも一つの回折格子のアッペ数は40以上であることを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項6】 前記アッペ数が30以下の回折格子は紫外線硬化樹脂より成ることを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項7】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5 $\mu$ m以下で、前記少なくとも一つの回折格子のアッペ数は25以下であることを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項8】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数（設計次数）の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が25以下の材料を用いることを特徴とする回折光学素子。

【請求項9】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項10】 前記アッペ数25以下の材料は紫外線硬化樹脂であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項11】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5 $\mu$ m以下で、前記少なくとも一つの回折格子のアッペ数は20以下であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項12】 前記複数の回折格子は格子の向きが他

の回折格子とは異なる少なくとも一つの回折格子を有することを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項13】 前記複数の回折格子の各々が、格子ピッチをP、格子厚をdとした時、 $d/P < 1/6$ を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項14】 前記複数の回折格子の各々が、格子厚をd( $\mu$ m)とした時、 $1 < d < 6$ を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項13のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項15】 使用波長領域が可視域であることを特徴とする請求項1乃至請求項14のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項16】 前記複数の回折格子は透明な基板上に形成されており、前記複数の回折格子の内の前記透明基板に最も近い回折格子は前記透明基板と同じ材質より成ることを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項17】 使用波長領域全体に亘って回折効率が97%以上となるように設計してあることを特徴とする請求項1乃至請求項16に記載の回折光学素子。

【請求項18】 d線、F線、C線にそれぞれに関して回折効率が99%以上となるように設計してあることを特徴とする請求項1乃至請求項16回折光学素子。

【請求項19】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子を有することを特徴とする光学系。

【請求項20】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子を有することを特徴とする結像光学系。

【請求項21】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子を有することを特徴とする撮影光学系。

【請求項22】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子を有することを特徴とする観光学系。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は回折光学素子及びこれを有する光学系に関し、特に、複数の波長の光或いはある波長帯域の光で使用する回折光学素子及びこれを有する光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】硝材の組み合わせによりレンズ系の色収差を減じる方法に対して、レンズの表面や系の一部に回折作用を有する回折光学素子（以下「回折格子」とも言う）を設けることでレンズ系の色収差を減じる方法が、SPIE Vol.1354 International Lens Design Conference (1990)等の文献や特開平4-213421、特開平6-324262、USP5044706等によ

り開示されている。この回折光学素子を用いる方法は、屈折面と回折面とは、ある基準波長の光線に対する色収差の出方が逆方向に発現するという物理現象を利用したものである。また、回折光学素子は、その周期的構造の周期を適宜変化させることで非球面レンズ的な効果を持たせることができるので、色収差の以外の収差の低減にも効果がある。

【0003】回折光学素子を有するレンズ系において、使用波長領域の光束が特定の一つの次数（以下、「特定次数」又は「設計次数」とも言う）の回折光に集中している場合は、それ以外の次数の回折光の強度は低いものとなり、強度が0の場合はその回折光は存在しないが、設計次数以外の次数の回折光が存在しある程度の強度を有する場合は、設計次数の光線とは別な所に結像するため、フレア光となる。

【0004】従って前述の回折光学素子の収差低減作用を有用するためには、使用波長領域全域において設計次数の回折光の回折効率が十分高いことが必要であり、この設計次数での回折効率の分光分布及び設計次数以外の回折光の振る舞いについても十分考慮する事が重要である。

【0005】図12に示すような回折光学素子（以下、「単層DOE」と言う）をある面に形成した場合の特定次数に対する回折効率の特性を図13に示す。図13において、横軸は波長を、縦軸は回折効率を示している。回折効率の値は全透過光束の光量に対する各次数の回折光の光量の割合であり、格子境界面での反射光などは説明が複雑になるので考慮していない値になっている。

【0006】図13に示すように、図12の単層DOEは、1次の回折次数（図中実線）において使用波長領域で最も回折効率が高くなるように設計されており、設計次数は1次である。この設計次数で回折効率はある波長で最も高くなり（以下「設計波長」と言う）それ以外の波長では徐々に低くなる。この設計次数での回折効率の低下分は、他の次数の回折光となり、フレア光となる。図13にはこの他の次数として設計次数近傍の次数（1次±1次の0次と2次）の回折効率も併せ並記してある。

【0007】このフレア光の影響を低減する構成として、様々な提案がなされている。

【0008】特開平9-127322号公報が示す回折光学素子は、図16に示すように、3種類の異なる格子材料と2種類の異なる格子厚を最適に選び、複数の互いに回折格子を等しいピッチ分布で近接して配置することによって、図17に示すように設計次数で可視域全域に亘り高い回折効率を実現している。

【0009】また特開平10-133149号公報が示す回折光学素子は、図14に示すように、回折格子を2層積層した断面形状を有し、2層を構成する各材質の屈折率、分散特性（アッペ数 $\mu d$ ）及び各層の格子厚を

最適化することにより、図15に示すように設計次数で可視領域全域に亘り高い回折効率を実現している。また、これにより、設計次数近傍の次数の回折効率も大幅に低減されるとともに、波長依存性も改善されている。特開平9-127322号公報や特開平10-133149号公報が示すような複数の材料と複数の回折格子を重ね合わせた構成を「積層DOE」と言う。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平9-127322号公報の積層DOEの複数の回折格子の内の一つは格子厚が10 $\mu m$ を超える厚さになっており、光束が垂直方向からずれて斜め方向から回折光学素子に入射すると、この斜入射光束が回折格子のエッジ部で散乱されるので、高い回折効率を得られなくなってくる。

【0011】これに対し、特開平10-133149号公報の積層DOEは、複数の回折格子全体の格子厚ですら2 $\mu m$ 程度と非常に薄いため、上述の斜入射光束の散乱による回折効率の劣化は少ない。しかしながら、設計次数である1次の回折光の回折効率は、使用波長領域である可視域全体をみると最大と最小の回折効率の差が10%程度あり、従って、0次、2次の回折光のそれぞれの回折効率は最大で4%、5%残存している。

【0012】そこで本発明では、複数の波長或いはある波長帯域より成る使用波長領域全体で特定次数に関して従来よりも高い回折効率を得られる回折光学素子及びこの回折光学素子を有する光学系を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明のある回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする。

【0014】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする。

【0015】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu m$ 以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする。

【0016】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu m$ 以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする。

【0017】本発明の他の回折光学素子は、上記のいす

れかの素子の構成を有し、且つ少なくとも一つの回折格子は、そのアッペ数は40以上であって、例えばガラスより成ることを特徴とする。

【0018】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの素子の構成を有し、且つ前記アッペ数が30以下の回折格子は紫外線硬化樹脂より成ることを特徴とする。

【0019】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの素子の構成を有し、且つ前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5  $\mu\text{m}$ 以下で、前記少なくとも一つの回折格子のアッペ数は25以下であることを特徴とする。

【0020】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が25以下の材料を用いることを特徴とする。

【0021】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10  $\mu\text{m}$ 以下で、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が25以下の材料を用いることを特徴とする。

【0022】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10  $\mu\text{m}$ 以下で、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が25以下の紫外線硬化樹脂を用いることを特徴とする。

【0023】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5  $\mu\text{m}$ 以下で、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が20以下の材料を用いることを特徴とする。

【0024】本発明の他の回折光学素子は、互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全体で特定次数の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5  $\mu\text{m}$ 以下で、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が20以下の紫外線

硬化樹脂を用いることを特徴とする。

【0025】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ前記複数の回折格子は格子の向きが他の回折格子とは異なる少なくとも一つの回折格子を有することを特徴とする。

【0026】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ使用波長領域が、可視域であることを特徴とする。

【0027】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ前記複数の回折格子は透明な基板上に形成されており、前記複数の回折格子の内の前記透明基板に最も近い回折格子は前記透明基板と同じ材質より成ることを特徴とする。

【0028】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ前記複数の回折格子の各々が、格子ピッチをP、格子厚をdとした時、 $d/P < 1/6$ を満たすことを特徴とする。

【0029】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ前記複数の回折格子の各々が、格子厚をd ( $\mu\text{m}$ )とした時、 $1 < d < 6$ を満たすことを特徴とする。

【0030】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つ使用波長領域全体に亘って回折効率が97%以上となるように設計してあることを特徴とする。

【0031】本発明の他の回折光学素子は、上記のいずれかの回折光学素子の構成を有し、且つd線、F線、C線にそれぞれに関して回折効率が99%以上となるように設計してあることを特徴とする。

【0032】本発明の各回折光学素子においては、回折格子が3層以上ある場合に回折格子の材料の種類は層数に限定されず、層数より少ない種類であっても良い。例えば、3層構成の場合、1層目と3層目の回折格子が同一材料で、2層目の回折格子がこの材料とは異なる材料である構成も採れる。

【0033】本発明の光学系は上記のいずれかの回折光学素子を有することを特徴とする。

【0034】本発明の結像光学系は上記のいずれかの回折光学素子を有することを特徴とする。

【0035】本発明の撮影光学系は上記のいずれかの回折光学素子を有することを特徴とする。

【0036】本発明の観察光学系は上記のいずれかの回折光学素子を有することを特徴とする。

【0037】

【発明の実施の形態】以下に本発明に係る実施例を説明する。

【0038】図1は本発明の一実施例の回折光学素子の正面図である。

【0039】図1において、回折光学素子1は、基板2の表面に回折格子3が作成された構成となっている。

【0040】図2は図1の回折光学素子を図1中A-A'断面で切断した断面形状の一部を示す。図2は格子深さ方向にかなりデフォルメした形で素子を描いているが、図2から明らかな通り、本回折光学素子は、基板2と、基板2上に積層した第1層目の回折格子(第1回折格子)4、第2層目の回折格子(第2回折格子)5を備え、第1回折格子4はそれと空気層8との境界部に第1の回折格子面6を有し、第2回折格子5はそれと空気層8との境界部に第2の回折格子面7を有する。また、第1、第2の回折格子4、5の寸法は、格子ピッチをP(μm)、格子厚をd(μm)とした時、 $d/P < 1/6$ を満たす。この条件を満たしている、素子自身又は素子製造用の型に対し格子形状を機械加工し易い。

【0041】本回折光学素子の使用波長領域は可視域であり、可視領域全体で1次の回折光の回折効率を高くするように第1、第2回折格子の材料及び高さが選択されている。簡単に言うと、第1、第2回折格子4、5のそれぞれの格子厚は10μm以下で、第1、第2回折格子\*

$$\eta(\lambda) = \text{sinc}^2 \{ \pi \{ M - (n_1(\lambda) - 1)d/\lambda \} \} \quad (2)$$

という(2)式で表わすことができる。(2)式において、Mは評価すべき回折光の次数、 $n_1(\lambda)$ は波長λでの回折格子の(材質の)屈折率である。

【0045】積層DOEのような2層以上の回折格子構造から成る回折光学素子における回折効率も、基本的には同様で、全層を通して一つの回折格子として作用させるためには、素子を構成する各材質(空気等も含む)の境界に形成された回折格子の山と谷の光学光路長差を求め、この光学光路長差を全回折格子に亘って加え合わせたものが波長の整数倍になるように決定する。

【0046】従って、図2に示した本回折光学素子において設計波長λ0の次数mの回折光の回折効率が最大となる条件式は

$$\pm(n_1-1)d_1 \pm (n_2-1)d_2 = m\lambda_0 \quad (3) \quad *$$

$$\eta(\lambda) = \text{sinc}^2 \{ \pi \{ M - \{ \pm(n_1(\lambda)-1)d_1 \pm (n_2(\lambda)-1)d_2 \} / \lambda \} \} \\ = \text{sinc}^2 \{ \pi \{ M - \Phi(\lambda) / \lambda \} \} \quad (4)$$

という(4)式で表わすことができる。(4)式中のΦ(λ)は、

$$\Phi(\lambda) = \pm(n_1(\lambda)-1)d_1 \pm (n_2(\lambda)-1)d_2$$

であり、Mは評価すべき回折光の次数、 $n_1(\lambda)$ は第1回折格子4の波長λでの屈折率、 $n_2(\lambda)$ は第2回折格子5の波長λでの屈折率、 $d_1$ 、 $d_2$ はそれぞれ第1回折格子4と第2の回折格子5の格子厚である。

【0049】図2の回折光学素子は回折格子面6、7を空気層8との境界面に形成しているが、本発明は、これに限定されるものではなく、空気とは異なる2つの異なる材質(光学材料)の境界面に回折格子面を形成する回折格子を用いることもできる。

【0050】次に本実施例における薄い回折格子で高い★

$$0.55510 = 0.94476 * 0.58756 \leq \Phi(d) \leq 1.05524 * 0.58756 = 0.62002 \quad (5)$$

$$0.62002 = 0.94476 * 0.65627 \leq \Phi(C) \leq 1.05524 * 0.65627 = 0.69252 \quad (6)$$

\*4、5の一方の回折格子のアッペ数は30以下で、第1、第2回折格子4、5の他方の回折格子のアッペ数は40以上である。

【0042】以下にこのような構成を選択した理由を述べる。

【0043】図12に示す通常の単層DOEにおいて、設計波長λ0のある次数の回折光の回折効率が最大となる条件は、光束が回折格子形成面に対して垂直入射する場合は回折格子の山と谷の光学光路長差(つまり山と谷のそれぞれを通過する光線間の光路長の差)が光束の波長の整数倍になることであり、式で表わすと、

$$(n_0-1)d = m\lambda_0 \quad (1)$$

となる。(1)式において、 $n_0$ は波長λ0での回折格子の屈折率、dは格子厚、mは回折光の次数である。

【0044】(1)式は波長の項を含むため、同一次数では設計波長でしか等号は成り立たず、設計波長以外の波長では回折効率は最大値から低下してしまう。任意の波長λでの回折効率は、

20※となる。(3)式で、 $n_0$ は第1回折格子4の材質の波長λ0での屈折率、 $n_0$ は第2回折格子5の材質の波長λ0での屈折率、 $d_1$ 、 $d_2$ はそれぞれ第1回折格子4と第2回折格子5の格子厚である。

【0047】ここで、図2中の0次回折光から左寄りの方向に回折する場合を正の回折次数、図2中の0次回折光から右寄りの方向に回折する場合を負の回折次数とすると、(2)式での加減の符号(±)は、図に示すように左から右に格子厚が減少する回折格子4の形状の場合が正(+)となり、逆に左から右に格子厚が増加する回折格子5の形状の場合が負(-)となる。

【0048】図2の構成に於いて、設計波長λ0以外の波長λでの回折効率は、

★回折効率を得る構成について説明を行なう。薄い回折格子の例として、図2に示す構成に於いて、第1回折格子4の格子厚 $d_1$ を10μmとした場合の第2回折格子5に用いる材料に必要な特性を決定した。

【0051】特定次数即ち設計次数での目標とする回折効率として可視域の波長d、C、F線で99%以上の回折効率が得られることとした。

【0052】まず、回折効率が99%以上であるためには、(4)式の $\eta(\lambda)$ の値が0.99以上になればよい。d、C、F線の各波長で99%以上の回折効率が得られる場合のΦ(λ)として要求される値を求めてみると、設計次数及び使用次数を1次とすると、M=1であり、

$$0.45928=0.94476*0.48613 \leq \Phi(F) \leq 1.05524*0.48613=0.51298 \quad (7)$$

が成り立てばよいことがわかる。更に、

$$\Phi(d)=(n1(d)-1)d1-(n2(d)-1)d2 \quad (8)$$

$$\Phi(C)=(n1(C)-1)d1-(n2(C)-1)d2 \quad (9)$$

$$\Phi(F)=(n1(F)-1)d1-(n2(F)-1)d2 \quad (10)$$

という関係も(4)式より導かれる。 $n1(d)$ 、 $n1(C)$ 、 $n1(F)$ はそれぞれ第1回折格子4の(材質の) $d$ 、 $C$ 、 $F$ 線の各波長での屈折率、 $n2(d)$ 、 $n2(C)$ 、 $n2(F)$ はそれぞれ第2回折格子5の \*

\* (材質の) $d$ 、 $C$ 、 $F$ 線での屈折率である。ここで、第2回折格子5の材料として要求されるアッペ数について考えてみる。アッペ数の定義より第2回折格子5のアッペ数 $\nu 2$ ( $\nu d$ )は、

$$\nu 2=\{n2(d)-1\}/\{n2(F)-n2(C)\} \quad (11)$$

で表される。(11)式を変形して(8)、(9)、(10)を代入すると

$$\begin{aligned} \nu 2 &= \{n2(d)-1\}/\{n2(F)-n2(C)\} = \{n2(d)-1\}/[\{n2(F)-1\}-\{n2(C)-1\}] \\ &= \{n2(d)-1\}d2 / [\{n2(F)-1\}d2 - \{n2(C)-1\}d2] \\ &= [\{n1(d)-1\}d1 - \Phi(d)] / [\{n1(F)-1\}d1 - \Phi(F) - \{n1(C)-1\}d1 + \Phi(C)] \end{aligned} \quad (12)$$

となる。

【0053】この(12)式が示すように、第2回折格子5の材料として要求されるアッペ数は、第1回折格子4の材料と格子厚が決まると、第2回折格子5の材料の屈折率や格子厚には無関係に決定できることになる。

【0054】図3に第1回折格子4のアッペ数と第2回折格子5のアッペ数の関係を示す。図3では第1回折格子4の格子厚を $10\mu m$ とし、第1回折格子4の材料として様々な光学ガラス材料を選び、その時必要とされる第2回折格子5の材料のアッペ数を、プロットしている。第2回折格子5の材料のアッペ数は、(12)式より決定できるが、(12)式の $\Phi(\lambda)$ の値は(5)、

(6)、(7)の範囲の任意の値になる。従って、選択できるアッペ数も範囲をもった値になる。図3は、その範囲を持ったアッペ数の中の最大のアッペ数をプロットしている。この図からわかるように、第1回折格子4のアッペ数が46から72程度の幅をもっているのに比べ、第2回折格子5のアッペ数は25から28程度しかばらついていない。

【0055】図4は図2の第1回折格子4の格子厚を $7.5\mu m$ とした時の、第1回折格子4のアッペ数と第2回折格子5のアッペ数の関係を示す。図4も図3と同様の方法で作成した。図4の場合は、第2回折格子5のアッペ数として必要な値は図3と比較して約5程度小さな値となっている。従って、これらのことから、積層DOEのような積層タイプの回折光学素子で、格子厚が $10\mu m$ 以下と薄いものにおいて従来よりも高い回折効率を得るためには、第2回折格子5にアッペ数 $\nu 2$ が30以下である材料を用いることが必要であることになる。

【0056】前述の条件を満たす第2回折格子5の材料としては、光学ガラス、プラスチック、紫外線硬化樹脂などが考えられるが、生産(量産)性、成形性などを考えるとプラスチック樹脂、紫外線硬化樹脂などが好ましい。

【0057】図5及び図6に、図4にプロットした組み

合わせの中から一例として、二重丸で示した組み合わせより成る図2のタイプの積層DOEの回折効率を示す。この積層DOEは、第1回折格子4の材料に住田光学ガラス(株)社製のLaFK60( $nd=1.63246$ 、 $\nu d=63.8$ )を用い、第2回折格子5の材料に紫外線硬化樹脂( $nd=1.635$ 、 $\nu d=23.0$ )を用い、第1回折格子4の格子厚を $7.5\mu m$ 、第2回折格子5の格子厚を $6.54\mu m$ としたものである。

【0058】図5は設計次数である1次の回折光の回折効率、図6は設計次数の隣の次数である0次と2次の回折光の各回折効率を示している。

【0059】図5、6から分かるように、 $d$ 、 $F$ 、 $C$ 線の回折効率は、99%以上を満足している。また可視域全体にわたって回折効率が97%以上と高い回折効率を維持している。更に、0次、2次の回折効率も $d$ 、 $F$ 、 $C$ 線では0.4%以下、可視域全体をみても1%以下と、かなり低い。従って、この積層DOEは非常に良好な性能を有していることが分かる。

【0060】以上説明した図1、2の回折光学素子は一定の格子ピッチを有する回折格子から成るものであったが、回折効率は格子ピッチに基本的に依存しないので、本発明においては、図7に示すような徐々に格子ピッチが変わるレンズ機能を備える回折光学素子にも、以上説明した技術が適用できる。

【0061】また、第1回折格子4の材料に光学ガラスを用いる場合は、図1、2に示した基板2と第1回折格子4を同じ材料として一体で作成したほうが、部品も減り、コスト的に好ましい。

【0062】また、以上述べた実施例は、平板上に回折格子部(積層DOE)を設けた回折光学素子であるが、レンズの凸面や凹面等の曲面の表面に回折格子部を設けても、上記実施例と同様の効果が得られる。

【0063】また、以上述べた実施例は、設計次数が1の所謂1次回折光を用いる回折光学素子を示したが、設計次数は1に限定するものではなく、2次や3次の1次



とは違う回折光であっても、回折格子部の合成光学光路長差を所望の設計次数で所望の設計波長となるように設定すれば、上記実施例と同様の効果が得られる。更に、回折格子部の回折格子の層数は2層に限らず3層以上でも良く、この場合も回折格子部の合成光学光路長差を所望の設計次数で所望の設計波長となるように設定すれば、上記実施例と同様の効果が得られる。

【0064】上記実施例では、第1回折格子4の材料として光学ガラスを用いた場合の第2回折格子5の材料について必要な特性に関して説明を行なったが、第1回折格子4の材料は光学ガラスに限定するものではなく、プラスチック樹脂や紫外線硬化樹脂等を使用することも可能である。これらの樹脂を用いることで型による成形が容易に行なえるので、回折光学素子の生産性が大幅に向上する。以下に、第1回折格子4の材料として様々な樹脂を用いた場合の実施例を示す。

【0065】図8は、第1回折格子4の格子厚を10 $\mu$ mとし、その材料として様々な樹脂を用いた場合の、第1回折格子4の材料のアップ数と第2回折格子5の材料のアップ数の組み合わせをプロットしたものである。

【0066】図9に第1回折格子4の格子厚を7.5 $\mu$ mとし、その材料として様々な樹脂を用いた場合の、第1回折格子4の材料のアップ数と第2回折格子5の材料のアップ数の組み合わせをプロットしたものである。

【0067】図8や図9が示す材料の組み合わせより成る積層DOEにおいては、第2回折格子5としては、図3及び図4が示すものに比べて、必要とされるアップ数が小さな値となっていることが分かる。しかしながら、図3及び図4が示すものと同様に、第1回折格子4の材料のアップ数が40から57程度の範囲と広い値を持つものに対し、図8の場合の第2回折格子5の材料のアップ数は20から24と狭い範囲となっており、図9の場合も第2回折格子5の材料のアップ数は16から20の狭い範囲である。

【0068】従って本実施例のように第1回折格子4の格子厚を10 $\mu$ m以下の薄いものとし、その材料として樹脂を用いた場合でも、第2回折格子5の材料としてアップ数が25以下の材料を用いれば、高い回折効率を得ることが可能となる。

【0069】本発明においては、回折光学素子1の第1、第2回折格子4、5のそれぞれの格子厚をd( $\mu$ m)とした時、 $1 < d < 6$ を満たすと、より製造し易い。

【0070】本発明の他の実施例を図10に示す。図10はカメラ等の撮影光学系の断面を示したものであり、図10中、9は撮影レンズで、内部に絞リ10と前述の本発明の回折光学素子1を持つ。11は結像面であるフィルムまたはCCDである。回折光学素子1は、図7で説明したレンズ機能を有する素子であり、撮影レンズの色収差を補正している。

【0071】図10の撮影レンズは、回折光学素子1が本発明の回折効率の波長依存性が大幅に改善されている光学素子であるので、フレア光が少なく低周波数での解像力も高く、高い性能を有する。回折光学素子1は、図2に示した空気層を有する光学素子のように各回折格子を製造した後、周辺部で貼り合わせるような簡単な製法でも作成できるので、撮影レンズとしては量産性に優れた安価なレンズを提供できる。

【0072】図10では絞リ10近傍の平板ガラス面に本発明の回折光学素子1を設けたが、これに限定するものではなく、以前説明したように、回折光学素子1はレンズの凹面又は凸面上に設けても良い。更に、撮影レンズ内に本発明の回折光学素子を複数個使用しても良い。

【0073】また、本実施例では、カメラの撮影レンズの場合を示したが、これに限定するものではなく、ビデオカメラの撮影レンズ、事務機のイメージスキャナーや、デジタル複写機のリーダーレンズなど広い波長域で使用される結像光学系に本発明の回折光学素子を使用しても、同様の効果が得られる。

【0074】本発明の他の実施例を図11に示す。図11は、双眼鏡等観察光学系の断面を示したものであり、図11中、12は対物レンズ、13は像を成立させるためのプリズム、14は接眼レンズ、15は評価面(瞳面)で、1は前述の本発明の回折光学素子である。1は対物レンズの結像面11での色収差等を補正する目的で設けてある。

【0075】図11の観察光学系は、回折光学素子1が本発明の回折効率の波長依存性が大幅に改善されている光学素子であるので、フレア光が少なく低周波数での解像力も高く、高い性能を有する。回折光学素子1は、図2に示した空気層を有する光学素子のように各回折格子を製造した後、周辺部で貼り合わせるような簡単な製法でも作成できるので、観察光学系(の対物レンズ部)として量産性に優れた安価な光学系を提供できる。

【0076】図11では平板ガラス面に本発明の回折光学素子1を設けたが、これに限定するものではなく、以前説明したように、回折光学素子1はレンズの凹面又は凸面上に設けても良い。更に、本発明の回折光学素子を複数個使用しても良い。

【0077】また図11の観察光学系では対物レンズ部に本発明の回折光学素子1を設けた場合を示したが、これに限定するものではなく、プリズム13の表面や接眼レンズ14内の位置にも設けることができ、この場合も同様の効果が得られる。しかしながら、回折光学素子1を結像面11より物体側に設けることで対物レンズ部のみでの色収差低減効果があるため、肉眼の観察系の場合、少なくとも対物レンズ部に設けることが望ましい。

【0078】また本実施例は双眼鏡の場合を示したが、これに限定するものではなく、本発明の回折光学素子は地上望遠鏡や天体観測用望遠鏡等の観察光学系にも適用

して同様の効果が得られるし、レンズシャッターカメラやビデオカメラなどの光学式のファインダーにも適用して同様の効果が得られる。

【0079】

【発明の効果】以上、本発明によれば、複数の波長或いはある波長帯域より成る使用波長領域全体で特定回数に関して従来よりも高い回折効率が得られる回折光学素子とこれを有する光学系とを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の1次元回折光学素子を示す図

【図2】実施例1の断面回折格子形状を示す図

【図3】実施例1の回折光学素子の材料特性を示す図

【図4】実施例1の回折光学素子の材料特性を示す図

【図5】実施例1の回折光学素子の回折効率を示す図

【図6】実施例1の回折光学素子の回折効率を示す図

【図7】実施例1のレンズタイプの回折光学素子を示す図

【図8】本発明の実施例2の回折光学素子の材料特性を示す図

【図9】実施例2の回折光学素子の材料特性を示す図

【図10】本発明の実施例3の撮影光学系を示す図

【図11】本発明の実施例4の観察光学系を示す図

【図12】従来の単層DOE（回折光学素子）の格子形\*

\* 状を示す図

【図13】図12の従来例の回折効率を示す図

【図14】従来の積層型DOEの断面形状を示す図

【図15】図14の従来例の積層型DOEの回折効率を示す図

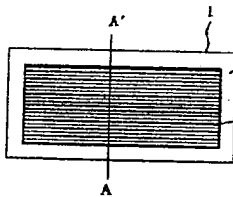
【図16】従来の他の積層型DOEの断面形状を示す図

【図17】図16の積層型DOEの回折効率を示す図

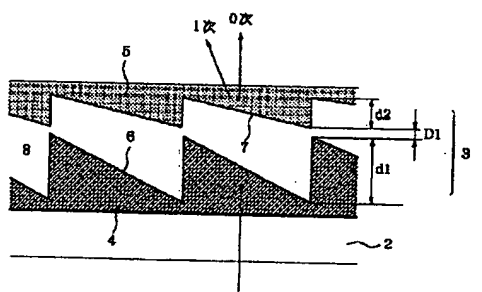
【符号の説明】

- 1 回折光学素子
- 2 基板
- 3 回折格子部
- 4 第1回折格子
- 5 第2回折格子
- 6 第1回折格子面
- 7 第2回折格子面
- 8 空気層
- 9 屈折レンズ
- 10 絞り
- 11 結像面
- 12 対物レンズ
- 13 プリズム
- 14 接眼レンズ
- 15 評価面（瞳面）

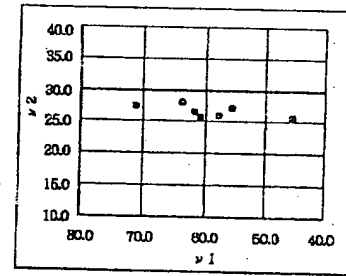
【図1】



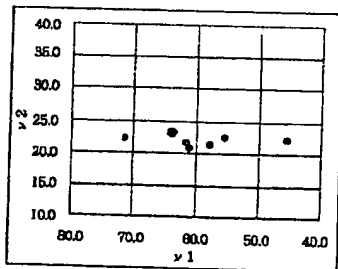
【図2】



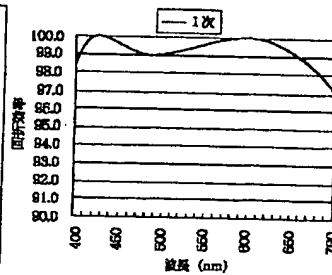
【図3】



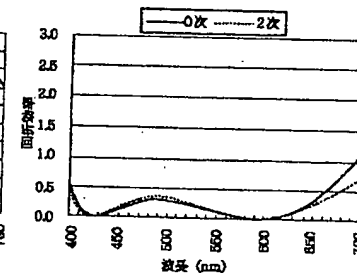
【図4】



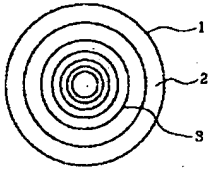
【図5】



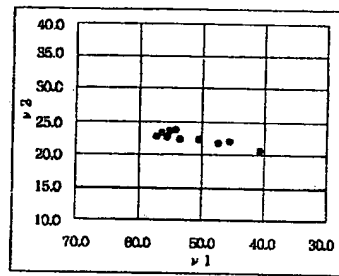
【図6】



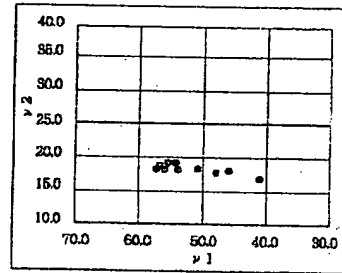
【図7】



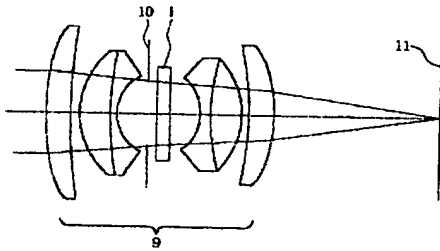
【図8】



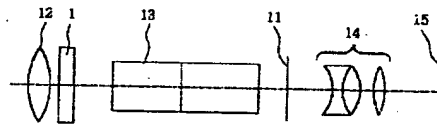
【図9】



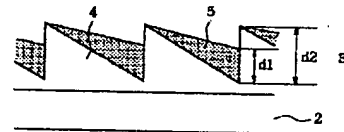
【図10】



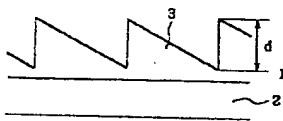
【図11】



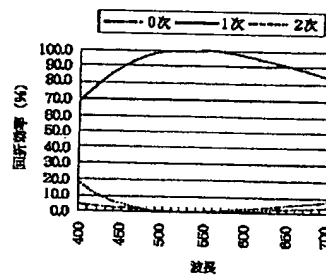
【図14】



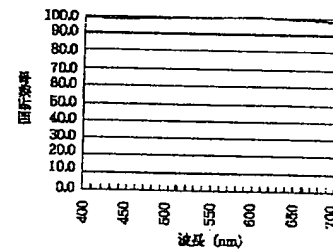
【図12】



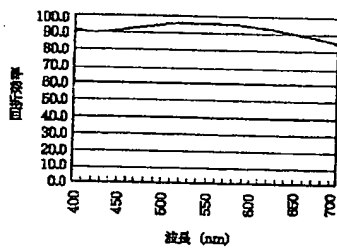
【図13】



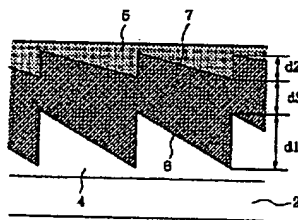
【図17】



【図15】



【図16】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
 【部門区分】第6部門第2区分  
 【発行日】平成14年3月12日(2002. 3. 12)

【公開番号】特開2000-98118(P2000-98118A)  
 【公開日】平成12年4月7日(2000. 4. 7)  
 【年通号数】公開特許公報12-982  
 【出願番号】特願平10-263020  
 【国際特許分類第7版】

G02B 5/18

27/42

【F1】

G02B 5/18

27/42

【手続補正書】

【提出日】平成13年10月25日(2001. 10. 25)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数(設計次数)の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項3】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項4】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数(設計次数)の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下で、少なくとも一つの回折格子のアッペ数は30以下であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項5】 少なくとも一つの回折格子のアッペ数は40以上であることを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項6】 前記アッペ数が30以下の回折格子は紫外線硬化樹脂より成ることを特徴とする請求項1、2、

3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項7】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5 $\mu$ m以下で、前記少なくとも一つの回折格子のアッペ数は25以下であることを特徴とする請求項1、2、3又は4に記載の回折光学素子。

【請求項8】 互いにアッペ数が異なる複数の回折格子を積層した格子構造を持つことで使用波長領域全域で特定次数(設計次数)の回折光の回折効率を高くした回折光学素子において、少なくとも一つの回折格子の材料に高分子樹脂を用い、他の少なくとも一つの回折格子の材料にアッペ数が25以下の材料を用いることを特徴とする回折光学素子。

【請求項9】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は10 $\mu$ m以下であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項10】 前記アッペ数25以下の材料は紫外線硬化樹脂であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項11】 前記複数の回折格子のそれぞれの格子厚は7.5 $\mu$ m以下で、前記少なくとも一つの回折格子のアッペ数は20以下であることを特徴とする請求項8に記載の回折光学素子。

【請求項12】 前記アッペ数が30以下の回折格子は、空気層を介して、アッペ数が40以上の少なくとも一つの回折格子と積層してあることを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項13】 前記複数の回折格子の各々が、格子ピッチをP、格子厚をdとした時、 $d/P < 1/6$ を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項12のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項14】 前記複数の回折格子の各々が、格子厚をd( $\mu$ m)とした時、 $1 < d < 6$ を満たすことを特徴とする請求項1乃至請求項13のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項15】 使用波長領域が可視域であることを特徴とする請求項1乃至請求項14のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項16】 前記複数の回折格子は透明な基板上に形成されており、前記複数の回折格子の内の前記透明基板に最も近い回折格子は前記透明基板と同じ材質より成ることを特徴とする請求項1乃至請求項15のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項17】 使用波長領域全体に亘って回折効率が97%以上となるように設計してあることを特徴とする請求項1乃至請求項16に記載の回折光学素子。

【請求項18】 d線、F線、C線にそれぞれに関して回折効率が99%以上となるように設計してあることを特徴とする請求項1乃至請求項16のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項19】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする光学系。

【請求項20】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする結像光学系。

【請求項21】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする撮影光学系。

【請求項22】 請求項1乃至請求項18のいずれかに記載の回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする観察光学系。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】本発明の他の回折光学素子は、前記アッペ数が30以下の回折格子は、空気層を介してアッペ数が40以上の少なくとも一つの回折格子と積層してあることを特徴とする。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正内容】

【0033】本発明の光学系は上記のいずれかの回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正内容】

【0034】本発明の結像光学系は上記のいずれかの回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正内容】

【0035】本発明の撮影光学系は上記のいずれかの回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正内容】

【0036】本発明の観察光学系は上記のいずれかの回折光学素子と、レンズとを有することを特徴とする。